

文章编号: 1005-0523(2002)02-0048-04

闪速混合理论分析与计算

唐朝春, 陈鹏

(华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 根据混凝剂的水解特性, 对其混凝机理进行了研究分析, 得知混合时间应在 1s 内完成混凝效果才最佳. 因此论述了闪速混合的理论和计算方法, 计算和实验表明闪速混合效果很好, 损失功率较小, 节能效益明显, 值得推广.

关键词: 混凝剂; 闪速混合; 方法; 计算

中图分类号: TU991.33

文献标识码: A

0 前言

混凝工序是水处理的一个关键工序, 混凝搞好, 后续的沉淀、过滤甚至消毒的效果都会更好. 混凝中首要问题是混合. 而闪速混合可充分利用混凝剂水解过程的中间产物进行脱稳, 从而提高混凝效果. 国外水厂已采用闪速混合多时, 而我国尚未推广, 因此有必要加以介绍.

笔者在实验室验证了闪速混合的良好效果, 当红色颜料水从注入管周射出时, 在有机玻璃水槽中迅速弯折扩散, 与原水完全混合, 其混合长度 L 与射流流速 u 、射流孔径 d 、原水断面平均流速 v 有关.

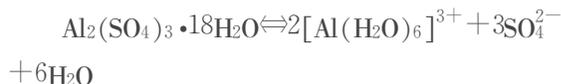
闪速混合的投药点是距反应池(絮凝池)原水进口较近的地方, 所需的能量不大, 经计算, 其射流的损失功率较小, 仅为静态混合器的 9.5%, 节能可观. 同时, 由于闪速混合提高了混凝效果, 减少混凝剂的投加量, 所以经济效益十分明显.

1 机理

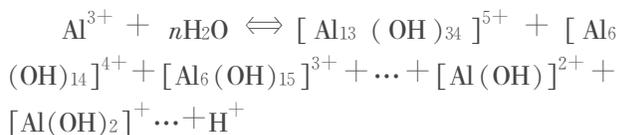
铝盐或铁盐混凝剂加到原水中, 起两种作用, 即吸附原水中杂质胶粒进行脱稳, 及卷扫凝聚胶粒

作用. 哪一种作用是主要的, 视水质而定. 当吸附脱稳时, 其物理化学反应可简写如下:

铝盐 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 首先在水中(其溶液中, 在 $\text{pH} < 4$ 时) 溶解产生带有 6 个配位水分子的铝离子^[1]:



$[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ 可简写为 Al^{3+} , 它进入原水管后在 $\text{pH} > 4$ 时, 立即进一步水解及缩聚成铝的各种羟基络离子^[1]:



实验证明: 上述反应是在 10^{-4} 秒至 1 秒内完成^[2], 为了充分利用铝盐水解过程中间产生的这些聚合物能极快地被水中胶粒吸附脱稳, 要求混凝剂溶液投入水中后能与原水闪速混合(*flash mixing*). 其混合时间要在 1 秒之内才符合要求.

随后, 在 1 秒至 7 秒之间, 铝的羟基络离子进一步水解成 $[\text{Al}(\text{OH})_3]_n \downarrow$ 胶体, 它主要对原水中胶粒起卷扫网捕(亦称吸附架桥)作用, 以形成矾花, 对卷扫作用来说, 其最佳的混合时间却以分钟计, 以便混凝剂有较充分的时间对胶粒进行卷扫. 但也要

收稿日期: 2001-11-28

作者简介: 唐朝春(1964-), 男, 安徽和县人, 华东交通大学副教授.

求尽快均匀混合.

2 闪速混合方法

2.1 水泵混合

投药于取水泵的进口,有可能在1秒钟内混合,但在长距离管道输送中可能过早地形成矾花易破碎.如在反应池进口处加装管道泵,由于扬程太小,泵的工作点效率很低,所以不宜采用.

2.2 管道中装静态混合器

目前各水厂使用较普遍的管道式静态混合器,其混合时间一般是2秒钟,是快速混合,达不到闪速混合的要求,而且能量损耗较大.

2.3 射流混合

将混凝剂以注入管注入在原水管接近反应池(絮凝池)进口处,注入管的侧面周边有几个小孔,混凝剂经小孔以很大的速度垂直于原水管的水流方向射出.在原水管的中轴处水流的紊动强度最大,混凝剂射流由此处注入,最易与原水闪速混合,如图1所示.

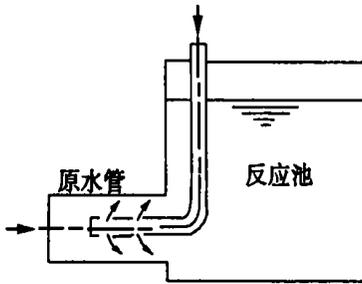


图1 射流混合

2.3.1 射流混合过程分析

混凝剂射流可分为三段:

- 1) 第I段为势流段,在此段中射流流核的流速不变,但射流开始与周围原水混合.
- 2) 第II段为偏折段,在原水管中主流的作用下,射流向主流方向偏折,并进一步与原水混合.
- 3) 第III段为旋涡段,射流的水流断面上发生两股旋涡,使射流迅速扩散与原水完全混合,如图2所示.

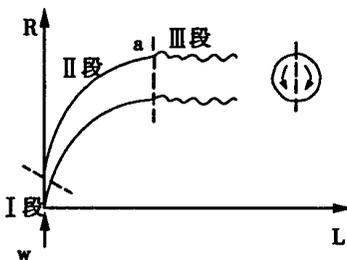


图2 射流分段

2.3.2 射流混合轨迹关系式

实验表明^[2]:

- 1) 射流顶部轨迹符合下列关系:

$$\left(\frac{Rv}{ud}\right)_t = 2.63 \left(\frac{Lv}{ud}\right)^{0.28} \quad (1)$$

- 2) 底部轨迹符合下列关系:

$$\left(\frac{Rv}{ud}\right)_b = 1.35 \left(\frac{Lv}{ud}\right)^{0.28} \quad (2)$$

- 3) 射流最大偏折点 *a* 发生在满足下列(3)式及(4)式的条件处:

$$\left(\frac{Lv}{ud}\right) = 3.0 \quad (3)$$

$$\left(\frac{Rv}{ud}\right)_t = 3.58 \quad (4)$$

- 4) 射流与原水完全混合时应满足式(5)的条件:

$$\left(\frac{Lv}{ud}\right) = 10 \quad (5)$$

上列各式中:

- R*——原水管径方向的坐标方向;
- L*——原水管轴方向的坐标方向;
- v*——原水管中的断面平均流速;
- u*——混凝剂射流出口流速;
- d*——混凝剂射出的小孔孔径.

$\left(\frac{Rv}{ud}\right)$ 及 $\left(\frac{Lv}{ud}\right)$ 都是以无量纲参数形式表示,以便于实验数据的整理.

3 算例

3.1 闪速混合

3.1.1 混凝剂注入管射流孔计算

某原水管的管半径 $R = 300$ mm,通过流量 $Q = 0.424$ m³/s,断面平均流速 $v = 1.5$ m/s,现射流以 $u = 7.5$ m/s 的速度沿原水管径向射入水中,由(4)式知在 $\left(\frac{Rv}{ud}\right)_t = 3.58$ 处射流顶部碰到原水管的管壁,由该式可算出所需的射流射出的直径(即小孔孔径)*d*:

$$d = \frac{Rv}{3.58u} = \frac{300 \times 1.5}{3.58 \times 7.5} = 16.8 \text{ mm}$$

射流孔口沿混凝剂注入管周成45°分布成8个.在射流顶部碰到原水管管壁处,该处射流已扩散成的直径为 $\Delta R = R_t - R_b$,由(1)、(2)、(3)式可算得:

$$\Delta R = R_t - R_b = (2.63 - 1.35) \left(\frac{Lv}{ud}\right)^{0.28} \left(\frac{ud}{v}\right)$$

$$=(2.63-1.35)(3)^{0.28}\left(\frac{7.5 \times 16.8}{1.5}\right)=146 \text{ mm}$$

对管半径 $R=300 \text{ mm}$ 的原水管还有 $R'=300-146=154 \text{ mm}$ 的水流未与射流混合. 为此, 应在注入管周再设第二排射流孔, 如图 3 所示, 与第一排孔成 22.5° 相角, 也是 8 个. 由(4)式, 以 $R'=154 \text{ mm}$ 代入得第二排射流的小孔直径 d' 为:

$$d'=\frac{R'v}{3.58u}=\frac{154 \times 1.5}{3.58 \times 7.5}=8.6 \text{ mm}$$

由(3)式可算出两排小孔在注入管轴向的间距 ΔL 为: $\Delta L=L-L'=3.0\left(\frac{ud}{v}-\frac{ud'}{v}\right)$

$$=3.0 \times \left(\frac{7.5}{1.5}\right)(16.8-8.6)=123 \text{ mm}$$

根据水力学中孔口出流流量 $Q=\epsilon Au$ 公式^[3] (ϵ 为收缩系数, 取 0.64; A 为孔口断面面积), 可得射流的流量 q 为:

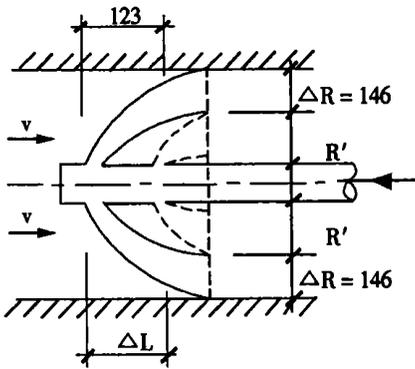


图 3 孔口计算

$$q=8 \times 0.64 \times \frac{\pi}{4} \times (d^2 + d'^2) u$$

$$=8 \times 0.64 \times \frac{\pi}{4} \times (0.016^2 + 0.0086^2) \times 7.5$$

$$=1.07 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$$

射流的水头损失 h 近似为:

$$h=\frac{u^2}{2g}-\frac{v^2}{2g}=\frac{7.5^2-1.5^2}{19.6}=2.76 \text{ m}$$

射流与原水混合的损失功率 P_1 为:

$$P_1=\gamma q h=9800 \times 1.07 \times 10^{-2} \times 2.76=289.41 \text{ W}$$

在 $\left(\frac{Lv}{ud}\right)=10$ 处, 混凝剂与原水完全混合, 在该处, 第一排射流已扩散成的直径 ΔR_m 和第二排射流已扩散成的直径 $\Delta R'_m$ 分别为:

$$\Delta R_m=(2.63-1.35)\left(\frac{Lv}{ud}\right)^{0.28}\left(\frac{ud}{v}\right)$$

$$=1.28 \times 10^{0.28} \times \left(\frac{7.5 \times 16.8}{1.5}\right)=204 \text{ mm}$$

$$\Delta R'_m=(2.63-1.35)\left(\frac{L'v}{ud'}\right)^{0.28}\left(\frac{ud'}{v}\right)$$

$$=1.28 \times (10)^{0.28} \times \left(\frac{7.5 \times 8.6}{1.5}\right)=105 \text{ mm}$$

因 $\Delta R_m + \Delta R'_m = 204 + 105 = 309 \text{ mm} >$ 原水管半径 300 mm , 可见混凝剂与原水已完全混合.

3.1.2 搅拌强度计算

1) 混凝剂在原水管中的混合长度 L 为:

$$L=10\left(\frac{ud}{v}\right)=10\left(\frac{7.5 \times 16.8}{1.5}\right)=840 \text{ mm}=0.84 \text{ m}$$

2) 原水管横断面积

$$A=\pi R^2=3.1416 \times 0.3^2=0.283 \text{ m}^2$$

3) 混合水的体积

$$V=AL=0.283 \times 0.84=0.238 \text{ m}^3$$

4) 原水的水头损失

沿程阻力系数 λ 取 0.05 计算, 在 $L=0.84 \text{ m}$ 的原水管长度上, 其水头损失 H 为^[3]:

$$H=\lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}=0.05 \times \frac{0.84}{0.6} \times \frac{1.5^2}{19.6}=0.008 \text{ m}$$

5) 原水的损失功率

$$P_2=\gamma QH=9800 \times 0.424 \times 0.008=33.24 \text{ W}$$

6) 混合所需总功率

$$P=P_1+P_2=289.41+33.24=322.65 \text{ W}$$

7) 速度梯度 G 为:

水温按 $t=15^\circ \text{C}$ 考虑, $\mu=1.14 \times 10^{-3} P_a \cdot \text{s}$ ^[4], 其速度梯度 G 为^[1]:

$$G=\left(\frac{P}{\mu V}\right)^{\frac{1}{2}}=\left(\frac{322.65}{1.14 \times 10^{-3} \times 0.238}\right)^{\frac{1}{2}}=1090 \text{ s}^{-1}$$

8) 混合时间 $T=\frac{L}{(Q+q)/A}$

$$=\frac{0.84}{(0.424+0.0107)/0.283}=0.55 \text{ s} < 1 \text{ s} (\text{符合要求}).$$

3.2 静态混合器

如果采用国内各水厂目前常用的静态混合器, 则:

1) 水头损失为^[5]:

$$h=0.1184 \frac{Q^2}{D^{4.4} n}=0.1184 \times \frac{(0.424)^2}{(0.6)^{4.4}} \times 4=0.81 \text{ m}$$

式中 Q ——原水管中流量, m^3/s ;

D ——原水管直径, m ;

n ——混合元件数, 一般取 4.

2) 水流经静态混合器的功率损失

$$P=\gamma Qh=9800 \times 0.424 \times 0.81=3365.7 \text{ W}$$

可见, 管道射流闪速混合损失功率仅为静态混

合器损失功率的 9.5%。

此外, 由于闪速混合使混凝剂得以充分利用, 从而可节省混凝剂投量。加上损失功率较小, 故闪速混合有一定的经济效益。

4 结束语

计算表明, 在满足 $(\frac{Lv}{ud})=10$ 的条件下, 原水与混凝剂可以在 1 s 内完全混合, 混凝剂水解的中间产物得到充分利用, 提高了混凝效果, 达到了闪速混合的目的和要求, 该方法切实可行, 而且其混合的功率损失仅为静态混合器功率损失的 9.5%, 省药省电。若电费按 0.5 元/kWh 计, 日产 5 万 m^3 的水

厂, 与目前国内各水厂采用的静态混合器相比, 每年可节约电费 2 万余元, 经济效益十分可观, 值得在中小水厂大力推广。

参考文献:

- [1] 严煦世, 范瑾初. 给水工程, 第三版[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- [2] James M. Montgomery. Water Treatment Principles & Design [M]. United states of America 1985.
- [3] 西南交通大学水力学教研室. 水力学, 第三版[M]. 北京: 高等教育出版社, 1991.
- [4] 周谟仁. 流体力学泵与风机, 第三版[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.
- [5] 严煦世. 给水排水工程快速设计手册(1), 给水工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.

Analysis and Calculation of Flash Mixing

TANG Chao-chun, CHEN Peng

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: According to the hydrolysis character of coagulant, is the theory of coagulation analyzed, and the result of the best effect of coagulation when the mixing time within one second is gained. Therefore, the theory of flash mixing is discussed in this paper. Calculation and experiment indicate that the effect of flash mixing is very good and the energy lost is lesser. The flash mixing is worth applying.

Key words: coagulant; flash mixing; method; calculation